

Jani Pylväinen

# Relesuojauksen kehitys johto- ja moottorisuojauksessa

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Sähkövoimatekniikka

Insinöörityö

15.5.2013

|  |   |
|--|---|
| Tekijä<br>Otsikko  | Jani Pylväinen<br>Relesuojauksen kehitys johto- ja moottorisuojauksessa |
| Sivumäärä<br>Aika  | 32 sivua<br>15.5.2013   |
| Tutkinto   | insinööri (AMK)   |
| Koulutusohjelma  | Sähkötekniikka  |
| Suuntautumisvaihtoehto   | Sähkövoimatekniikka   |
| Ohjaaja  | lehtori Jarno Varteva   |
| <p>Tässä opinäytetyössä tutkittiin jakeluverkon johtolähdön ja eri kokoisten mottoreiden suojaustarpeita ja suojaustoteutuksia. Työ tehtiin kirjallisuustutkimuksena.</p> <p>Työssä käydään läpi reletyypit ja releiden kehitys sähkömekaanisista aina kennotermiinaaleihin asti, eri kokoisten moottoreiden suojaus sekä jakeluverkon johtosuojauksen haasteet ja suojaustavat.</p> <p>Moottoreiden suojaus riippuu moottorin koosta ja tärkeydestä. Yksinkertaisimmillaankin moottori suojataan sulakkeilla ja lämpöreleellä. Tärkeämpään ja isompaan moottorin suojaukseen kannattaa panostaa sillä se parantaa luotettavuutta sekä lisää käyttöikää. Suuremmille moottoreille onkin olemassa monipuoliset suojausmahdollisuudet.</p> <p>Sähkönjakelun luotettavuus ja sähkön laatu ovat tärkeitä asioita. Näitä voidaan pitää yllä ja parantaa luotettavalla sähköverkon suojauksella, jossa verkon viat laukaistaan nopeasti pois ja verkko palautetaan takaisin toimintakuntoon. Suurin osa jakeluverkon vioista on ohimeneviä jotka voidaan poistaa nopealla poiskytkennällä ja jälleenkytkentäautomaatiolla.</p> <p>Tulevaisuuden relesuojauksessa tullaan käyttämään yhä enemmän kennotermiinaaleja niiden kattavien suojausominaisuuksien takia.</p> |   |
| Avainsanat   | Kennotermiinaali, relesuojaus, johtolähdön suojaus, moottorisuojaus     |

|  |  |
|--|--|
| Author<br>Title<br>Number of Pages<br>Date   | Jani Pylväinen<br>Development of Relay Protection in Lead- and Motor Applications<br>32 pages<br>15 May 2013 |
| Degree   | Bachelor of Engineering  |
| Degree Programme   | Electrical engineering   |
| Specialisation option  | Electrical power engineering   |
| Instructor   | Jarno Varteva, Senior Lecturer   |
| <p>In this graduate study distribution network relay protection and motor protection were examined. Purpose of this study was to compare different relay protection solutions. This was done by exploring scientific literature on distribution network and motor protection.</p> <p>This study first introduces basic relay types and how relays have evolved from basic electromechanical relays that included moving parts to feeder terminals. This study also includes examples about how motor- and lead protection is done.</p> <p>Protection level of motor depends on importance and size of a motor. Even at simplest, motor is protected with fuses and thermal relay. It is important to pay attention to motor protection because it increases reliability and durability of motor. For bigger motors there are plenty of protective methods.</p> <p>Reliability and quality of electricity is important. These can be maintained and improved via reliable network protection where network faults are quickly dispatched and network restored back to functional. Most of the network faults are temporary and can be removed with quick circuit breaker operation and restored with automation.</p> <p>The result of the study was that most of the future relay protection solutions will include feeder terminals as they provide more protective functions.</p> |  |
| Keywords   | Feeder terminal, motor protection, lead protection, relay protection   |

## Sisällys

|       |                               |    |
|-------|-------------------------------|----|
| 1     | Johdanto                      | 1  |
| 2     | Relesuojaus                   | 1  |
| 2.1   | Periaatteet ja tavoitteet     | 2  |
| 2.2   | Reletyypit                    | 3  |
| 2.2.1 | Sähkömekaaniset suojareleet   | 4  |
| 2.2.2 | Staattiset releet             | 5  |
| 2.2.3 | Numeeriset relet              | 6  |
| 3     | Moottorisuojaus               | 7  |
| 3.1   | Moottorisuojaus               | 7  |
| 3.1.1 | Käynnistyksen valvontasuojaus | 9  |
| 3.1.2 | Ylikuormitussuojaus           | 10 |
| 3.1.3 | Yliämpösuojaus                | 10 |
| 3.1.4 | Epäsymmetriasuojaus           | 10 |
| 3.1.5 | Yli- ja alijännitesuojaus     | 11 |
| 3.1.6 | Käämisulku                    | 11 |
| 3.2   | Suojauksen toteutus           | 12 |
| 4     | Jakeluverkon johtosuojaus     | 18 |
| 4.1   | Vikatyytit                    | 18 |
| 4.1.1 | Symmetrinen oikosulku         | 18 |
| 4.1.2 | Epäsymmetrinen oikosulku      | 19 |
| 4.1.3 | Maasulku                      | 19 |
| 4.1.4 | Katkeileva maasulku           | 20 |
| 4.2   | Vikojen selviämistavat        | 21 |
| 4.3   | Suojauksen periaatteita       | 22 |
| 4.3.1 | Oikosulku                     | 22 |
| 4.3.2 | Maasulku                      | 23 |
| 4.3.3 | Valokaari                     | 24 |
| 5     | Johtosuojauksen toteutus      | 25 |
| 5.1   | Suojaus oikosululta           | 26 |
| 5.2   | Suojaus maasululta            | 26 |
| 5.3   | Suunnattu maasulku            | 27 |
| 5.4   | Jälleenkytkentä               | 28 |



## 1 Johdanto

Reletekniikalla suojaudutaan sähköverkon vikoja vastaan. Vaikka monella asialla voidaan vikoja ehkäistä, niitä ei koskaan pystytä poistamaan. Tällöin suojauksen laadulla voidaan poistaa vika mahdollisimman nopeasti, jolloin vian aiheuttamat taloudelliset vahingot ja henkilövahingot jäisivät mahdollisimman pieneksi. Suojauksen halutaan toimivan nopeasti ja automaattisesti, koska sähköasemia ei ole enää miehitetty vuosiin, vaan monet kytkennät hoidetaan kaukokäytön avulla. Jälleenkytkennöillä saadaan poistettua huomattavan suuri osa jakeluverkon vioista.

Relesuojaustekniikka kehittyy nopeasti. Järjestelmät integroituvat yhä enemmän yhdeksi isoksi kokonaisuudeksi. Nykyisellä tekniikalla yhteen releeseen voidaan ohjelmallisesti toteuttaa monia suojausfunktioita. Releet ovat kehittyneet liikkuvia osia sisältävistä sähkömekaanisista releistä staattisiin eli elektronisiin releisiin ja siitä edelleen numeerisiin releisiin jotka sisältävät mikroprosessorin. Releiden kehitys kulkee käsi kädessä tietotekniikan kanssa.

Myös releiden välinen tiedonsiirto on kehittynyt. Releet osaavat kommunikoida keskenään ja näin estää turhia katkaisijoiden laukaisuja. Tiedonsiirrolla pystytään myös välittämään häiriö valvomoon ja esittämään häiriön sijainti kartalla.

Työn alussa esitellään relesuojauksen tarkoitus ja erityyppiset releet. Tämän jälkeen esitellään moottorisuojauksessa esiintyviä vikoja, suojausmekanismeja ja suojausesimerkkejä eri kokoisille moottoreille. Jakeluverkon johtosuojauksesta käydään mahdolliset vikatapaukset, suojautumiskeinot ja muutama suojausesimerkki eri tavoin toteutettuna.

## 2 Relesuojaus

Sähköverkon rakentamisessa ja käytössä on käyttöjännitteen ja / tai –virran alaisena olevien komponenttien ohella keskeinen merkitys sähköverkon automaatioon kuuluvalla relesuojaustekniikalla. Relesuojaus edustaa generaattorin jännitteen ja taajuuden säädön ohella automaation vanhimpia sovelluksia. Releitä on valmistettu ja käytetty vuosisadan alusta alkaen.

Releet ovat mittalaitteiden kaltaisia laitteita, jotka tarkkailevat verkon sähköisiä suureita ja pystyvät havaitsemaan verkon epänormaalit tilat kuten ylikuormituksen ja eristyksen pettämisen. Releiden asetteluarvojen ylitys tulkitaan epänormaaliksi tilaksi, jolloin rele koskettimiensa välityksellä antaa ohjauskäskyn tavallisimmin katkaisijalle viallisen osan irroittamiseksi terveestä verkosta.

Sähköjärjestelmien laajentuessa ja sähkön merkityksen kasvaessa on relesuojaustekniikasta tullut yhä tärkeämpi osa sähkölaitostekniikkaa.

Relesuojaustekniikalla ei varsinaisesti pyritä ehkäisemään vikoja ja häiriöitä, vaan niiden olemassaolo pyritään tunnistamaan mahdollisimman nopeasti. Erään poikkeuksen säännöstä muodostaa sähköverkon stabiilin toiminnan ylläpito, jolloin relesuojaustekniikkaa käytetään laajan sähköhäiriön ennalta ehkäisyyn. Myös generaattorien, moottorien ja muuntajien yhteydessä käytetään releitä, jotka varoittavat lähestyttäessä laitteen toimintakyvylle vaarallista käyttöaluetta.

Releiden ja verkon valvontajärjestelmän tulee olla sekä luotettava että toimintavarma. Vian havaitsemattomuus tai releen aiheeton toiminta voi johtaa vakaviinkin seurauksiin: sähkön laatu huononee, omaisuusvahinkoja tai laitevaurioita syntyy tai ihmisiä ja eläimiä joutuu vaaralle alttiiksi. [1. s.15-18]

## 2.1 Periaatteet ja tavoitteet

Sähköverkossa tapahtuvia vikatilanteita, kuten oikosulkuja, maasulkuja, ylikuormituksia, ylijännitteitä, alijännitteitä ja johdinkatkoksia varten voimalaitokset, sähköasemat ja kytkinlaitokset varustetaan suojalaitteilla, joista osan muodostavat releet. Releet tarkkailevat sähköverkon tilaa ja tarpeen vaatiessa suorittavat kytkentöjä automaattisesti, luotettavasti ja nopeasti.

Relesuojaukselta edellytetään seuraavaa:

- Toiminnan on oltava selektiivistä, jotta vian sattuessa mahdollisimman pieni osa verkosta jää pois käytöstä.

- Toiminnan on tapahduttava riittävän nopeasti ja herkästi niin, että vaarat, vauriot, häiriöt ja haitat jäävät kohtuullisiksi sekä verkon stabiilisuuden tulee säilyä kaikissa olosuhteissa.
- Suojauksen tulee kattaa aukottomasti koko suojattava järjestelmä.
- Sen on oltava käyttövarma ja mahdollisimman yksinkertainen.
- Käytettävyyden tulee olla hyvä.
- Suojaus on voitava koestaa käyttöpaikalla.
- Suojauksen on oltava hankintakustannuksiltaan kohtuullinen.

Suojareleet ja niiden ohjaamat katkaisijat muodostavat suoja-alueita. Jos vierekkäiset suoja-alueet osaksi peittävät toisensa, on suojaus aukoton. Suoja on absoluuttisesti selektiivinen kun se toimii vain omalla suojausalueellaan tapahtuvissa vioissa. Suoja-alueita voivat olla esimerkiksi johdot, muuntajat, generaattorit ja moottorit. Selektiivisyys on ominaisuus, jonka avulla rele havaitsee vian suoja-alueella, muttei toimi, jos vikaa ei ole tai vika on suoja-alueen ulkopuolella.

Relesuojauksen päätehtävä on vikojen havaitseminen ja vika-alueen rajoittaminen mahdollisimman pieneksi. [1. 15-18]

## 2.2 Reletyypit

Sähköverkon eri osien suojaukseen käytettävät suojareleet ovat kehittyneet valtavasti ensimmäisistä laitteista. Yleisesti suojareleet on jaettu kolmeen ryhmään niiden toteutustavan mukaisesti. Nämä kolme ryhmää on: Sähkömekaaniset, staattiset ja numeeriset suojareleet. Numeeriset releet voidaan jakaa ensimmäisen ja toisen sukupolven numeerisiin suojareleisiin. Toisen sukupolven numeerisia suojareleitä nimitetään kennoterminaaleiksi. [2. 169-170]



### 2.2.1 Sähkömekaaniset suojareleet

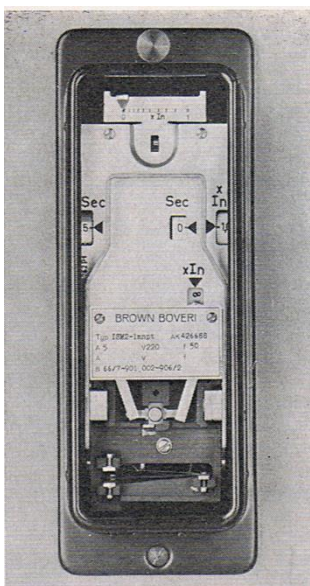
Ensimmäiset suojareleet olivat suojattavaan päävirtapiiriin suoraan kytkettäviä ensiö- eli primääri releitä, jotka virran ylittäessä asetteluarvon vapauttivat välitangon avulla katkaisijan laukaisujousen. Ensiöreleitä parempaan taloudelliseen ja tekniseen tulokseen päästään mittamuuntajien toisioon liitettävillä toisioreleillä. Toisioreleitä on myös mahdollista koestaa käytön aikana toisin kuin ensiöreleitä.

Mekaaniset releet ovat tyypiltään tehollisarvoa mittaavia koneistoja joille on ominaista liikkuvien osien hitaus. Näillä menetelmillä ei ole mahdollista mitata vaihtosuureiden hetkellisarvoja ja siten nopeuttaa toimintaa. Vikavirrassa oleva tasakomponentti voi aiheuttaa mekaanisen releen havahtumisen asetteluarvoa pienemmällä virralla ja suojauksen epäselektiivisen toiminnan.

Mekaanisten releiden asettelutarkkuus on muutamiin sovellutuksiin täysin riittämätön ja niitä on vaikea saada riittävän herkiksi. Maasulkusuojausta varten on rakennettu erikoisherkkiä releitä, mistä aiheutuu että ne ovat herkkiä myös termisesti, joten ne eivät saa olla jatkuvasti toimineena.

Mekaanisissa releissä on paljon liikkuvia osia, jotka vaativat runsaasti huoltoa. Säännöllisesti huollettuna mekaaninen rele toimii suhteellisen luotettavasti. [1. s.21-23]

Uusia sähkömekaanisia suojareleitä ei ole enää valmistettu vuosiin, mutta niitä on edelleen suuri määrä käytössä. Erään arvion mukaan n. 10-15 % suomessa käytössä olevista toisiosuojareleistä on sähkömekaanisia. Suomessa on edelleen ensiöpiiriin kytkettäviä sähkömekaanisia releitä käytössä kohteissa joissa ei ole apusähköä saatavilla tai varasuojina. [2. s.169]



Kuva 1. Sähkömekaaninen ylivirtarele [4]

### 2.2.2 Staattiset releet

Staattiset releet ottavat apuenergiansa erillisestä apusähköliitännästä, joten mittauspiirin kuormitus jää hyvin vähäiseksi. Koska rele ottaa apuenergiansa erillisestä apuenergialähteestä, voidaan lähtöreleenä käyttää apurelettä, jossa on riittävästi koskettimia sekä laukaisua että hälytystä varten. Erillisiä välireleitä ei tarvita vaan lähtökoskettimilla voidaan suoraan ohjata katkaisijaa. Varsinkin nopeissa releissä tämä on tärkeää, sillä välireleet saattavat hidastaa suojausta 20...40 ms.

Varsinainen staattinen rele liitetään sovitusmuuntajan välityksellä mittamuuntajan toisiopiiriin. Sovitusmuuntajan avulla virta- ja jännitesuureet muutetaan elektroniikalle sopiviksi. Sovitusmuuntaja suojaa elektroniikkaa ylivirtojen ja ylijännitteiden muodostamalta termiseltä ja dynaamisilta vaikutuksilta.

Staattisista releistä on mahdollista tehdä huomattavasti tarkempia ja nopeampia kuin mekaanisista releistä. Lisäksi staattisten releiden asettelualueet ovat laajoja.

Elektroniikka tarvitsee huomattavasti vähemmän tilaa kuin vastaava mekaaninen toteutus. Elektroniikkaa soveltamalla voidaan useita eri toimintoja koota samaan releeseen. Näin esimerkiksi moottorin suojarle sisältää kaikki moottorin suojaukseen tarvittavat suojat: oikosulku-, ylikuormitus-, vinokuormitussuojan sekä käynnistuksen

valvojan ja staattinen johdonsuoja ylivirta- ja maasulkuelimen lisäksi jälleenkytkentälogiikan. [1. s. 23-25]

### 2.2.3 Numeeriset relet

Staattisia suojareleitä seurasivat digitaalitekniikkaan käyttävät ja mikroprosessorilla varustetut releet. Näistä käytetään nimitystä numeerinen rele. Ensimmäisen sukupolven numeerisille releille oli tunnusomaista suojauskohteen eri suojaustoimintojen integrointi samaan laitteeseen. Esimerkiksi johdonsuojaan oli integroitu oikosulku-, maasulkusuoja sekä jälleenkytkentäreleistys. Merkittävin uusi ominaisuus oli itsevalvonta.

Toisen sukupolven numeerisille releille on tunnusomaista myös muiden tietojen lähetyksen kosketintietojen ohella. Tiedon kulku on tällöin kaksisuuntaista. Releeltä voidaan lukea mittaustietoja, tila- ja asettelutietoja ja rele vastaanottaa ohjaus- ja asettelutietoja. Toisen sukupolven numeerisista releistä käytetään myös nimitystä kennoterminaali.

Mikroprosessorin ansiosta suojareleistä voidaan tehdä hyvin monipuolisia. Samaan releeseen voidaan sisällyttää useampi suojaustoiminto. Prosessoritekniikka helpottaa myös loogisten toimintojen toteuttamista. Loogisilla toiminnoilla voidaan estää aiheettomien toimintojen synty ja parantaa suojaustasoa. Esimerkkinä ylivirtareleen pikalaukaisun kaksinkertaistamislogiikka josta on erityisesti hyötyä moottoria käynnistäessä. Releeseen ohjelmoidaan logiikka, joka tunnistaa moottorin käynnistämisen ja nostaa pikalaukaisun toiminta-arvon kaksinkertaiseksi käynnistytyn ajaksi. Loogisten toimintojen ansiosta releeseen ei tarvitse kytkeä lisäreleitä tai apukosketinjohdotuksia. [1. s.25-35]



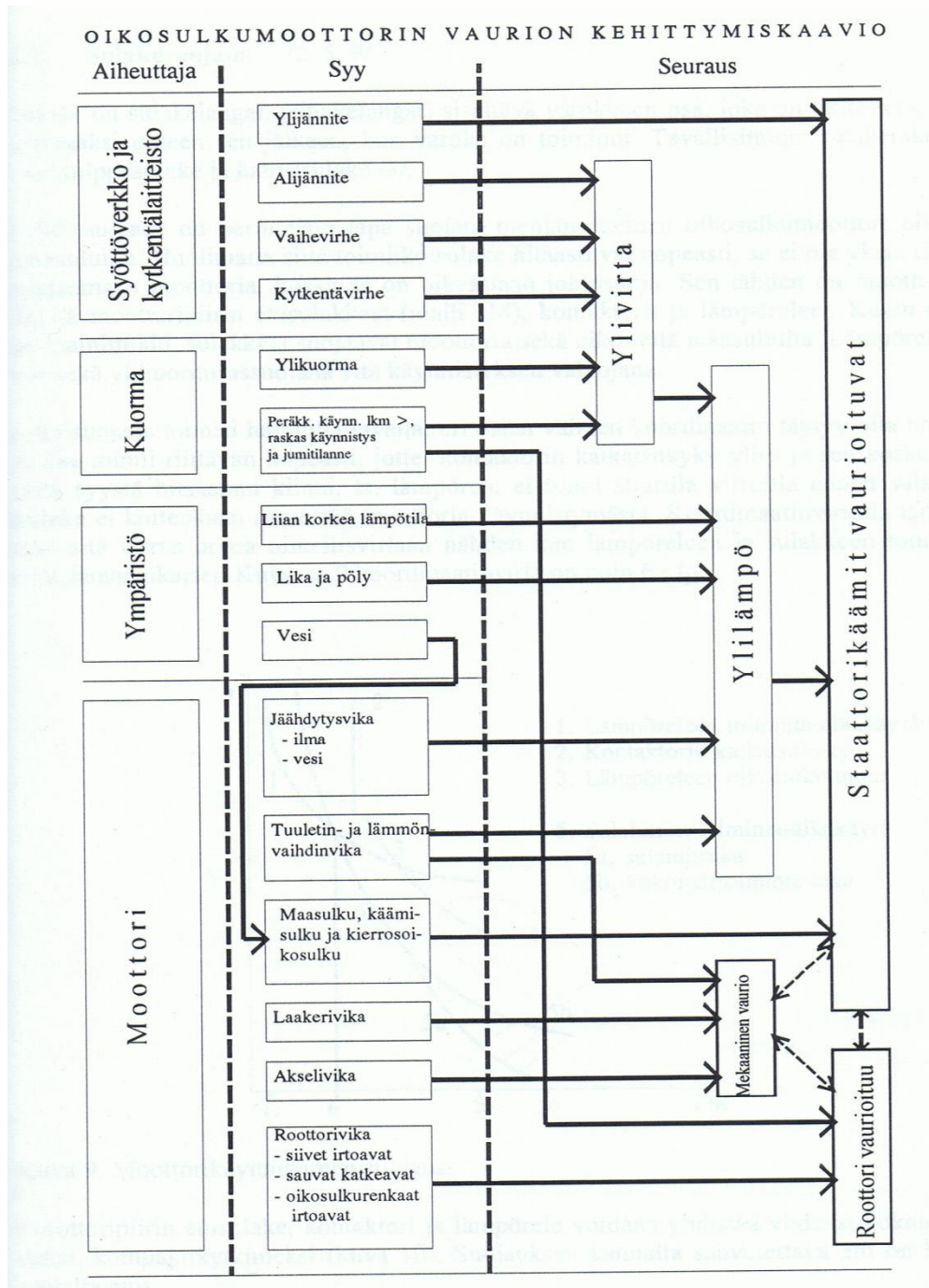
Kuva 2 VAMP255 Kennoterminali [13]

### 3 Moottorisuojaus

#### 3.1 Moottorisuojaus

Moottorit altistuvat monenlaisille häiriöille. Sähköverkosta peräisin olevia häiriöitä ovat yli- ja alijännitteet, yli- ja alitaajuuudet, vaihe-epäsymmetria, yliaallot ja jälleenkytkennät. Käytöstä aiheutuvat rasitukset ovat toistuvat käynnistykset, jumitilanteet ja ylikuormat. Muita ulkoisia tekijöitä ovat likaantuminen, jäähdytysjärjestelmän häiriöt, kosteus, ympäristön lämpötila ja huoltovirheet. Moottoreiden suojauksella pyritään siihen että rasitukset eivät tulisi liian suuriksi ja moottorieristys säilyttäisi käyttökuntonsa mahdollisimman pitkään. [1. s.171]

Moottori, tässä tapauksessa oikosulkumoottorin, vauriot voidaan jakaa kolmeen osaan. Staattorivaurioihin, roottorivaurioihin ja mekaanisiin vaurioihin. [8. s.12]



Kuva 3. Oikosulkumoottorin vaurioiden kehittymiskaavio [8. s.13]

Relesuojauksella pyritään varjelemaan moottoria seuraavilta häiriöiltä:

- Ylikuorma
- käynnistuksen valvonta

- oikosulku
- käämisulku
- maasulku
- vaihe-epäsymmetria
- alivirta
- ali- ja ylijännite [1. s.171]

### 3.1.1 Käynnistyksen valvontasuojaus

Käynnistyksen valvonnan tarkoitus on estää moottorin terminen vahingoittuminen sellaisissa tapauksissa, jossa moottorin käynnistymisaika on epänormaalin pitkä. Käynnistyksen valvonta on yleensä osana ylikuormitussuojaa. Käynnistyksen valvonta voidaan toteuttaa kahdella eri periaatteella: vakioaikaylivirtareleellä tai termisen rasituksen periaatteella. [4. s.22]

Käynnistysvirta on oikosulkumoottoreilla 5..7 kertaa nimellisvirran suuruinen. Käynnistymisvirta vaimenee eri tavalla riippuen moottoripiirin resistanssista. Resistanssin ollessa suuri käynnistymisvirta pienenee pyörimisnopeuden kasvaessa, näin on yleensä pienillä oikosulkumoottoreilla. Suurilla oikosulkumoottoreilla, joissa moottoripiirin resistanssi on suhteellisen pieni, pysyy käynnistymisvirta likimain vakiona koko käynnistyksen ajan.

Suoraviivaisin tapa valvoa moottorin käynnistymistä on käyttää ylivirtareleettä. Releen virta-asettelu asetellaan 2..3 kertaa nimellisvirran suuruiseksi ja hidastus hieman moottorin käynnistymisaikaa pidemmäksi. Heikkoutena on jos moottori käynnistetään alijännitteisenä moottorin käynnistymisaika pitenee yli normaalin käynnistymisajan.

Moottorin käynnistymisen valvontaan voidaan myös käyttää termisen rasituksen periaatetta  $\int_0^{t_s} I^2 dt$ , jossa rele laskee käynnistysvirran neliön ja käynnistysajan tulon.

Tulo vastaa moottorin normaalia termistä räsitusta käynnistyksen aikana. Jos tulo ylittää asetteluarvon antaa rele laukaisukäskyn. [1. s. 172-174]

### 3.1.2 Ylikuormitussuojaus

Moottorin ylikuormitussuojan tulisi olla kaksiporainen. Ensimmäinen porras antaa hälytyksen asetteluarvon ylittyessä ja jälkimmäinen porras suorittaa laukaisun 10-15 % ylikuormituksella. [1. s. 175]

Moottorin ylikuormitussuojaus toteutetaan pienillä pienjännitekoneilla katkaisijan tai kontaktorin lämpöreleellä. Suurjännitekoneet ja suuret pienjännitekoneet (> 1MW) suojataan moottorinsuojareleellä.

Vähäinen, hetkellinen ylikuormitus ei ole moottorille haitallinen. Moottorin ylikuormitus on yleensä merkki häiriöstä tai ongelmasta prosessissa. Jokainen moottori tarvitsee ylivirta- ja kuormitussuojan. [4. s. 18]

### 3.1.3 Ylilämpösuojaus

Moottorin likaantuminen, jäähdytysjärjestelmän häiriö tai yliaallot saattavat aiheuttaa moottoriin ylimääräistä lämpenemää. Tätä ei virtaa mittaava tavallinen rele kykene havaitsemaan, jolloin moottoria suojaava rele tulisi varustaa lämpötila-anturilla. [1. s. 175]

### 3.1.4 Epäsymmetriasuojaus

Tavallisin epäsymmetrian aiheuttaja on yhden vaiheen katkeaminen joko sulakkeen palamisen tai katkaisijan toiminta vajaanapaisesti. Epäsymmetriatilanteessa moottorin käämit kuormittuvat epätasaisesti ja moottori tulee irroittaa verkosta.

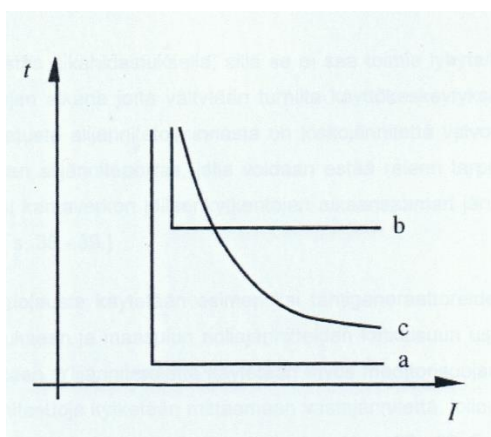
Epäsymmetriasuojaus voidaan toteuttaa joko lämpöreleen epäsymmetriselle virralle herkistetyn toiminnon avulla tai epäsymmetriareleen avulla. [1. s.176]

### 3.1.5 Yli- ja alijännitesuojaus

Yleensä moottoreita syöttävä verkko varustetaan ali- ja ylijännitereleillä jotka kytkevät vikatilanteessa moottorit irti verkosta. Alijännite aiheuttaa moottoriin ylimääräistä kuormitusvirtaa ja alijänniterele kytkee moottorin irti verkosta jos kiskosto tulee alijännitteiseksi tai jännitteettömäksi. [1. s.177]

### 3.1.6 Käämisulku

Käämisulku, eli moottorin käämityksen sisäinen vaiheiden välinen oikosulku, on harvinainen vika. Vaiheen ja rungon välinen runkosulku voi kehittyä käämisulkuksi ellei käämisulku laukaista riittävän nopeasti pois. Käämisulku on aina vaarallinen vika jonka takia suojauksen tulisi toimia nopeasti. Yleisin tapa suojata moottorin on käyttää ylivirtareleen pikalaukaisua. [1. s.179]



Kuva 4. Ylivirtareleen ominaiskäyriä [2 s. 171]

Kuvan 4 ominaiskäyristä a on hetkellinen ylivirtarele, b vakioaikaylivirtarele ja c käänteisaikaylivirtarele. [2. 171]

Suuret epätahtikoneet suojataan differentiaalireleillä, jotka tarkkailevat käämitysten alku- ja loppupään virtoja. Virta-ero merkitsee käämi- tai maasulkuja. Differentiaalireleen avulla saadaan suojattua moottorin koko käämitys. Käämisulun syntyminen pienjännitekoneessa on epätodennäköistä eikä differentiaalireleitä käytetä. Moottorin käämisulkusuojana toimii moottorin ylivirtarele jolla saadaan suojattua suurin osa käämityksistä. [4. s.24 – 25]

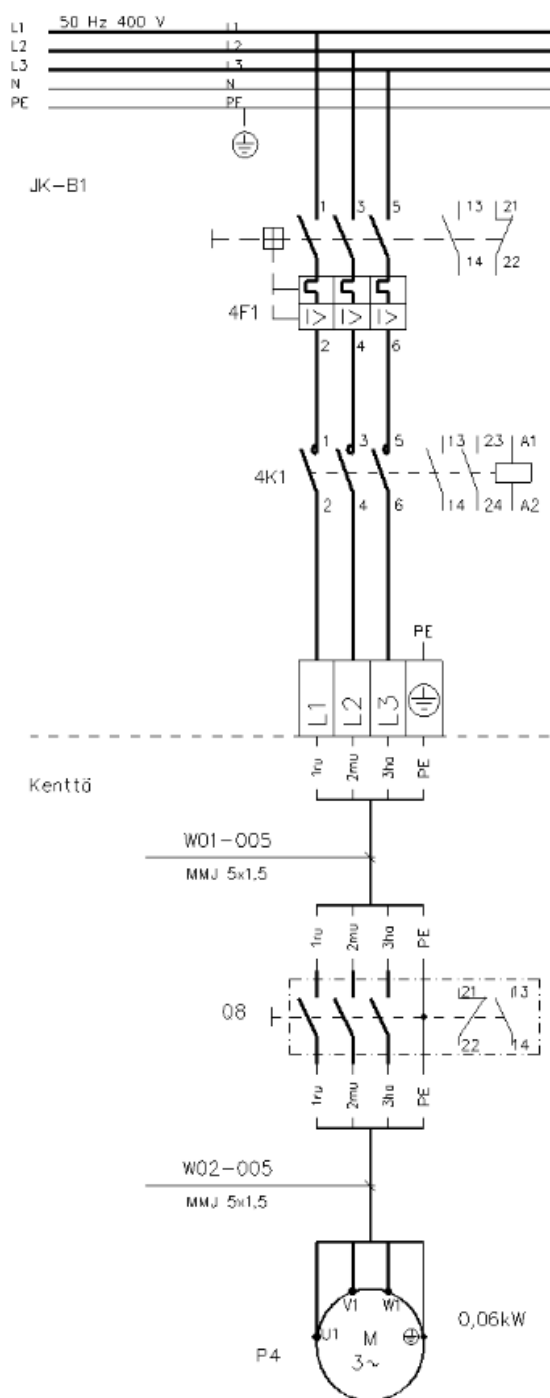


### 3.2 Suojauksen toteutus

Moottoreiden suojaustarve riippuu moottorin koosta, hinnasta sekä tärkeydestä. Suojauksen laatu ja kattavuus kasvaa sitä mukaa kuin moottorin koko ja tärkeys kasvaa. [4]

Pienjännitemoottorit suojataan yleensä sulakkeella, kontaktorilla ja lämpöreleellä. Sulake suojaa oikosululta ja maasululta, lämpörele toimii käynnistuksen valvojana sekä ylikuormitussuojana. Lämpörele avaa kontaktorin havaittuaan vian.

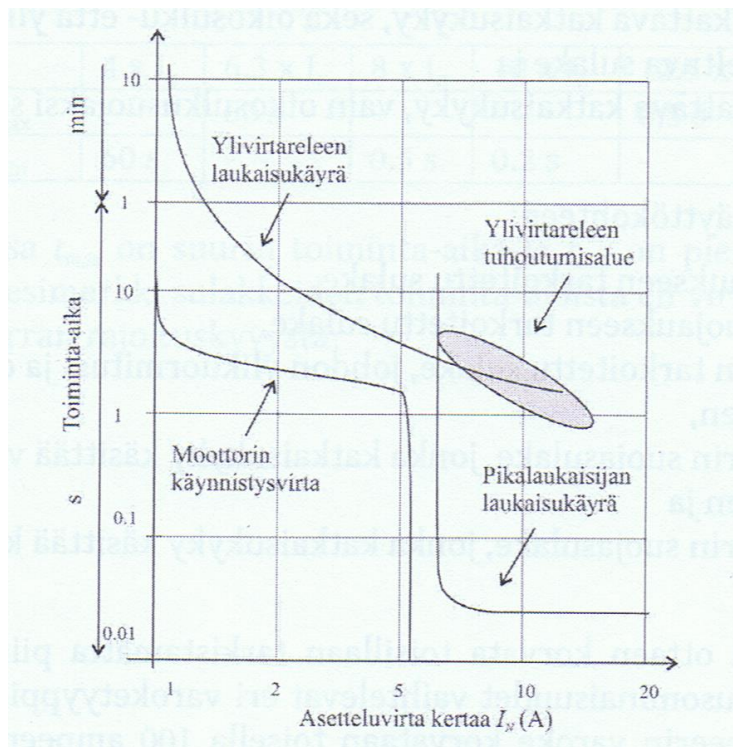
Sulakkeen on toimittava nopeasti, ettei kontaktorin koskettimet hitsaudu kiinni. Sulake ei myöskään saa estää moottoria käynnistymästä. Sulakkeen, lämpöreleen ja kontaktorin välisen koordinaation on siis toimittava saumattomasti. Komponentit voidaan myös integroida yhdeksi paketiksi, moottorinsuojakytkimeksi. [1. s.181-182]



Kuva 5. Moottorisuojakytkimen pääkaavio [14]

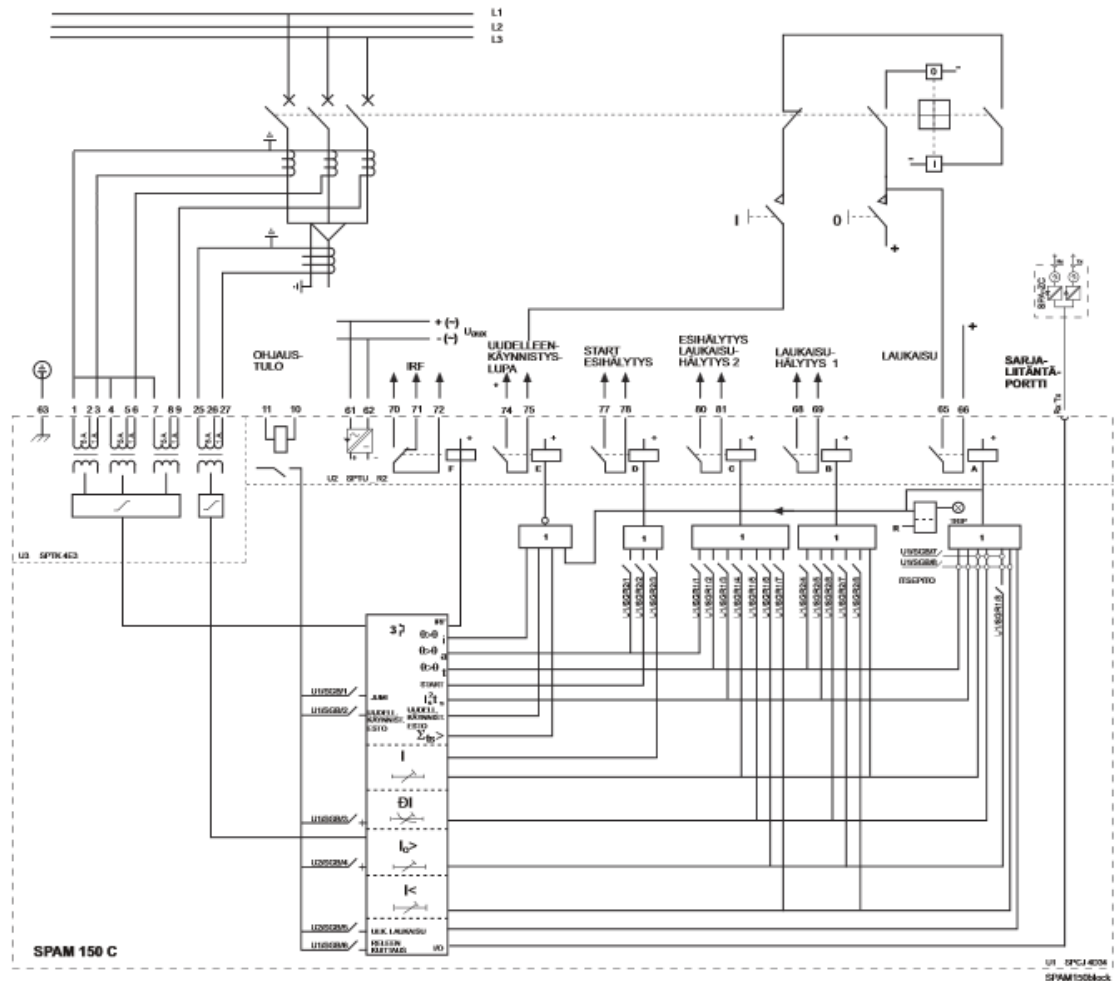
Moottorisuojakytkimen etuna on helppo aseteltavuus. Moottorisuojakytkimeen asetellaan moottorin nimellisvirta, jolloin se laukeaa jo pienestäkin ylivirrasta ja suojaa näin moottoria ylikuormittumiselta. [15. s.117]

Moottorin oikosulkusuojaus ei saa toimia ylikuormitustapauksissa, eikä moottorin käynnistyksessä tai muuntajan kytkentävirtapiikin aikana. [3. s.176]



Kuva 6. Pienjännitemoottorin suojauskoordinaatio. [3]

Suurjännitemoottorin suojaus voidaan toteuttaa moottorisuojareleellä, joka sisältää tärkeimmät suojausmekanismit kuten oikosulku-, ylikuormitus- ja epäsymmetriasuojan sekä käynnistyksen valvonnan. [1. s.183]



Kuva 7. Moottorinsuojareleen kytkentäesimerkki [16 s.7].

Kuvassa 7 moottorinsuojaukseen on käytetty ABB:n SPAM 150 C moottorinsuojarelettä, joka sisältää kolmivaiheisen ylivirtasuojan, termisen ylikuormitussuojan, käynnistuksen valvonnan, vaihe-epäsymmetriasuojan, vaihejärjestyksen valvonnan, alivirtasuojan sekä suuntaamattoman maasulkusuojan.

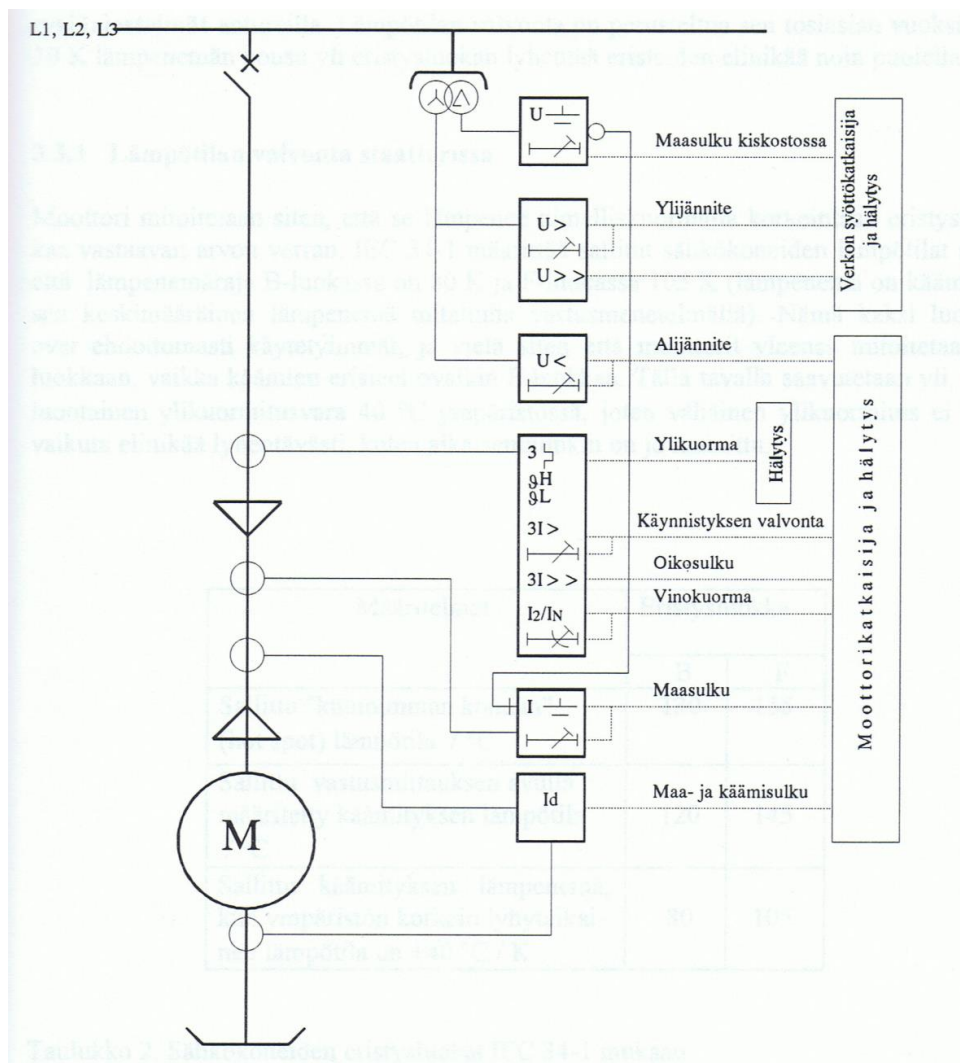
Ylivirtasuoja sisältää kaksi porrasta,  $I_s$  ja  $I_{>>}$ . Ylempi toimii oikosulkusuojana ja alempi käynnistuksen valvojana tai ylivirtasuojana. Termisen suoja valvoo kohteen kuormitusolosuhteita. Se estää uudelleenkäynnistuksen silloin jos käynnistysyritys epäonnistuisi liiallisen lämpenemän takia.

Käynnistuksen valvonta voidaan toteuttaa käynnistysajan mittaamisella tai termisen kuormituksen mittauksella.

Vaihe-epäsymmetria suojaa verkon epäsymmetrian aiheuttamilta ylimääräisiltä kuormituksilta. Suoja on käänteisaikatoiminen ja täydellisessä epäsymmetriatilanteessa, eli vaihe-katkossa, toiminta-aika on 1 s.

Alivirtasuojaa käytetään suojaamaan moottori kun kuormitus äkillisesti katoaa. [16 s.3]

Moottorin koon ja tärkeyden kasvaessa myös suojaustarve kasvaa. Suuren moottorin suojaus voidaan toteuttaa joko muutamalla erillisellä releellä tai yhdellä kennoterminalilla.



Kuva 8. Suurjänniteoikosulkumoottorin relesuojaus [8. s.31]

Kuvassa x esiintyvää oikosulkumoottorin suojaukseen käytetään neljää erityyppistä relettä: Monitoimirele, jänniterele, nollavirtarele ja differentiaalirele.

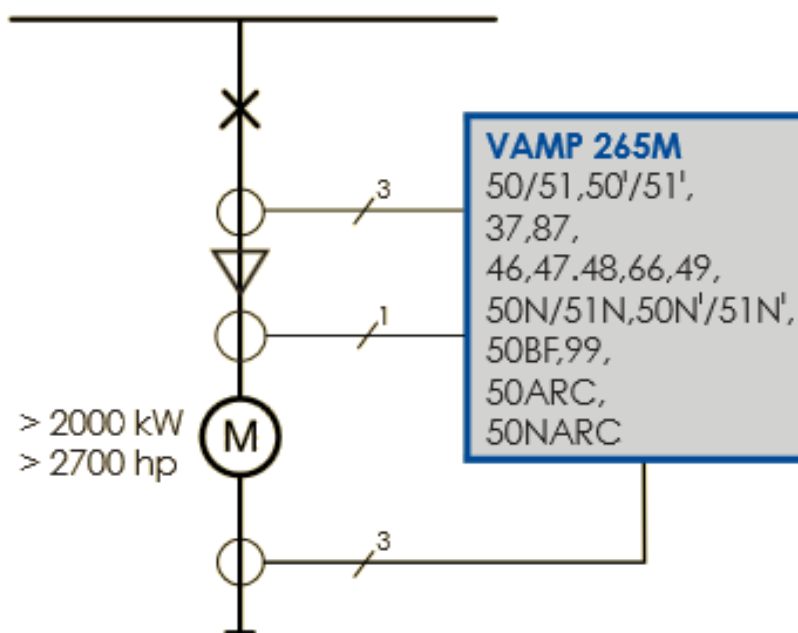
Monitoimirele sisältää oikosulku-, ylikuormitus ja vinokuormitussuojan sekä myös käynnistyksen valvonnan.

Jänniterele suojaa kiskoston yli- ja alijännitteiltä sekä nollajännitereleen joka lukitsee nollavirtareleen.

Nollavirtarele suojaa moottorin maasulkua vastaan ja siihen asetellaan pienempi arvo kuin differentiaalireleelle.

Differentiaalirele suojaa moottoria käämi- ja kierrosoikosuilta. [8. s.31]

Moottorin voi myös suojata yksittäisellä kennoterminalilla, joka sisältää vaaditut suojaustoiminnot.



Kuva 9. Moottorin suojaus kennoterminalilla [18]

Kennoterminaliin VAMP265M voidaan asettaa,

- Kolmiportainen ylivirtasuojaus
- Käynnistyksen valvonta

- Suojaus äkilliseltä kuorman putoamiselta
- Suojaus maasululta
- Ylikuormitussuoja
- Vaihejärjestys ja epäsymmetriasuoja
- Käämi- ja kierrossulkusuoja
- Jumisuoja
- Vaihtoehtoinen valokaarisuojaus [18]

#### 4 Jakeluverkon johtosuojaus

Sähköverkkojen toiminta normaaliolosuhteissa edellyttää että estetään vaarallisten jännitteiden syntyminen ja virrat eivät vahingoita laitteita tai aiheuta vaarallista lämpötilaa. Jakelujärjestelmät suunnitellaan niin että jakelujärjestelmän viat eivät aiheuttaisi tarpeettomia käyttökeskeytyksiä. [2.]

Suurin osa sähköverkkojen vioista ovat oikosulkuja ja nopeasti ohimeneviä. Nämä viat voidaan poistaa pikajälleenkytkennällä, jolloin lyhyt jännitteetön aika sammuttaa syntyneen valokaaren. Nopean jälleenkytkennän tarkoituksena on saada verkko takaisin toimintaan mahdollisimman nopeasti. [6]

Jakeluverkon johtosuojaus sisältää oiko-, ja maasulkusuojausten sekä jälleenkytkentäreleistyksen. [1. s.295]

##### 4.1 Vikatyypit

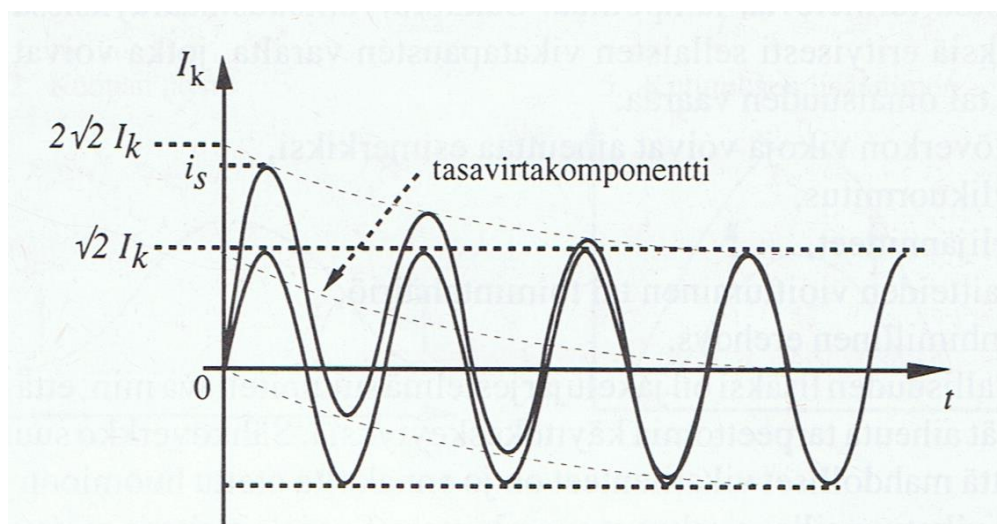
##### 4.1.1 Symmetrinen oikosulku

Jakeluverkkoa eniten rasittava vika on kolmivaiheinen oikosulku, joka on kytkettävä mahdollisimman nopeasti pois. Jännitteen huippuarvon hetkellä syntyvää oikosulkua

kutsutaan symmetriseksi oikosuluksi, joka ei sisällä tasavirtakomponenttia. Symmetrisen oikosulun virran suuruus on n. 30-40 kertainen verrattuna nimellisvirtaan. [2. s.159]

#### 4.1.2 Epäsymmetrinen oikosulku

Epäsymmetrinen oikosulku sisältää tasakomponentin, joka riippuu oikosulun alkuhetkestä. Epäsymmetrinen oikosulku voi myös olla yksivaiheinen maasulku tai kaksivaiheinen oikosulku joka on samalla maasulku. Epäsymmetrisen oikosulun ensimmäistä virran huippuarvoa sanotaan sysäysoikosulkuvirraksi  $i_s$  ja tätä huippuarvoa käytetään kojeistojen sähködynaamisten voimien laskentaperiaatteena koska se määrää suurimmat esiintyvät mekaaniset rasitukset. [2.s.160-163]



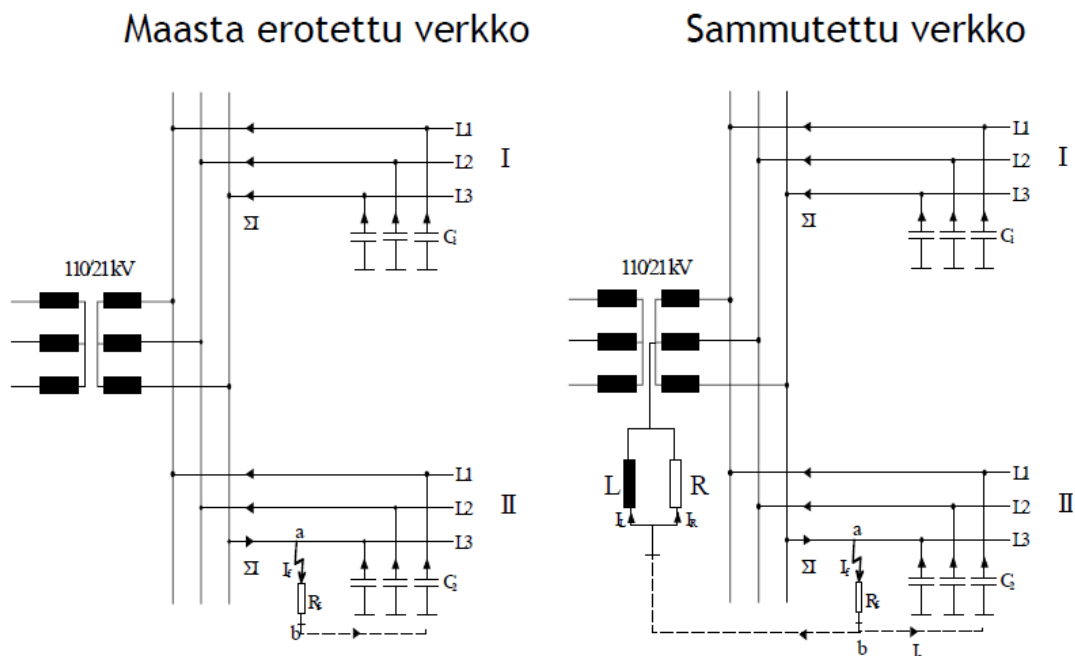
Kuva 10. Symmetrinen- ja epäsymmetrinen oikosulku.

#### 4.1.3 Maasulku

Maasulku on johtimen ja maan tai maahan yhteydessä olevan kohdan välinen eristysvika. Maasulku voi olla yksi- tai monivaiheinen. Maasulkuvirran suuruuteen sekä merkitykseen vaikuttaa suuresti miten verkon tähtipiste on maadoitettu. Verkko voi olla joko erotettu tai sammutettu. Maasta erotetussa verkossa virtapiiriin osat ovat täysin erotettuja maasta, jolloin maasulkuvirran suuruus riippuu galvaanisesti yhteenkytketyn



verkon maakapasitansseista. Sammutetuksi verkoksi kutsutaan järjestelmää, jossa muuntajan tähtipiste on kytketty maahan maasulkuvirtaa rajoittavan kuristimen välityksellä. [4. s.18-20]



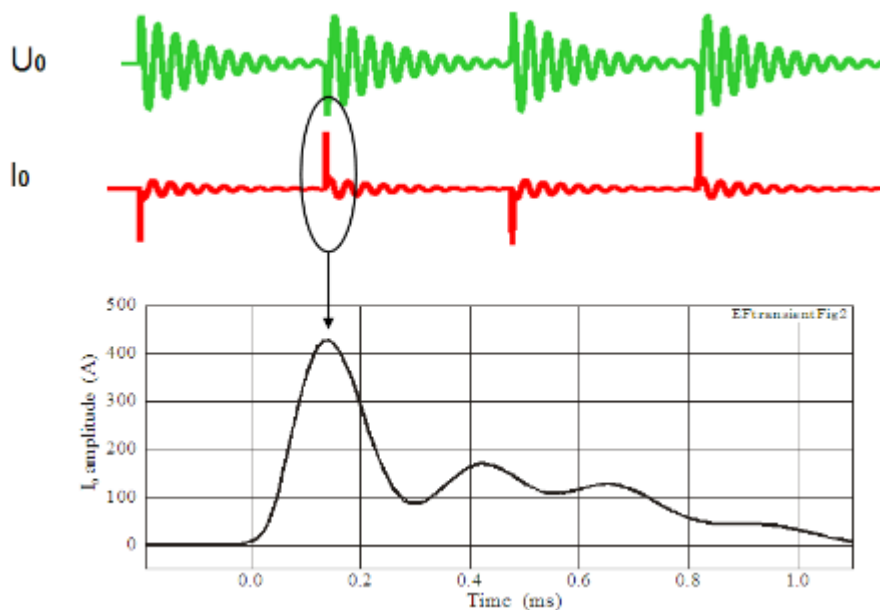
Kuva 12. Sähköverkon maadoitustavat.

Verkon kannalta hankalin tapaus on yksivaiheinen maasulku maasta erotetussa verkossa, jossa maasulkukohdan vikavastusta ei tunneta ja vikavirran suuruus voi vaihdella suurissa rajoissa. Tämä vaikeuttaa vian havaitsemista ja laukaisemista. [2. s. 162]

#### 4.1.4 Katkeileva maasulku

Katkeilevien maasulkujen määrä on lisääntynyt kun verkkoyhtiöissä on siirrytty kaapelointiin ja verkon kompensointiin. [11]

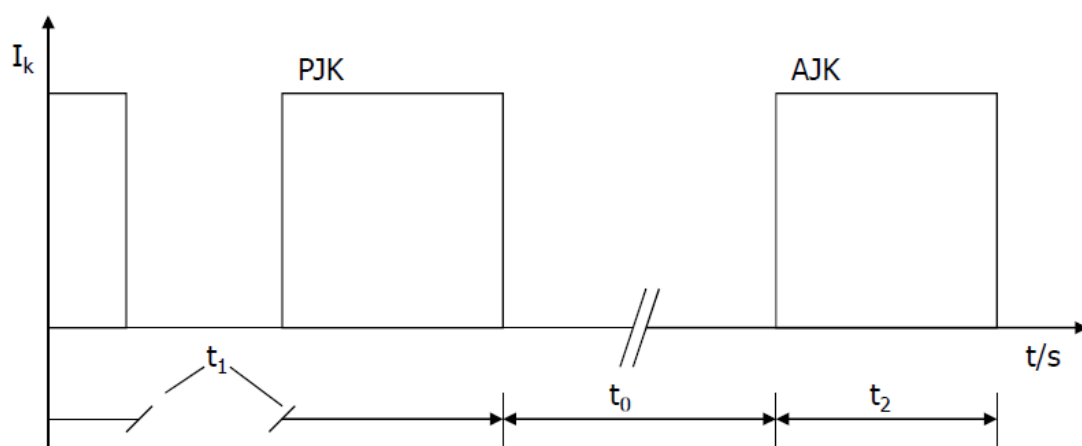
Katkeileva maasulku voidaan havaita kun verrataan nollajännitteessä esiintyviä piikkiarvoja lähtöjen nollavirtoihin. Vikaantuneessa lähdössä summavirran ja nollajännitteen välillä ei ole vaihesiirtoa. [12. s.33]



Kuva 13. Tyypillinen katkeileva maasulku. [11]

#### 4.2 Vikojen selviämistavat

Suojaustoiminnot on yleensä keskitetty jakeluverkossa 110/20 kV:n sähköasemille. Jokaisella lähdöllä on oma suojaus ja suojauksen toimiessa viallisen lähdön katkaisija avautuu ja lähtö tehdään jännitteettömäksi. [5]



#### Kuva 14. PJK ja AJK

Kuvassa 14 rele havahtuu havaittuaan oikosulkuvirran  $I_K$  ja avaa katkaisijan. Ajan  $t_1$  jälkeen rele ohjaa katkaisijan kiinni. Jos vika ei ole poistunut, rele havaitsee oikosulkuvirran ja avaa katkaisijan uudelleen (pikajälleenkytkentä). Jälleenkytkentäaika vaihtelee välillä 0,2-0,4 s. Tuona aikana johto ei ehdi jäähtyä.

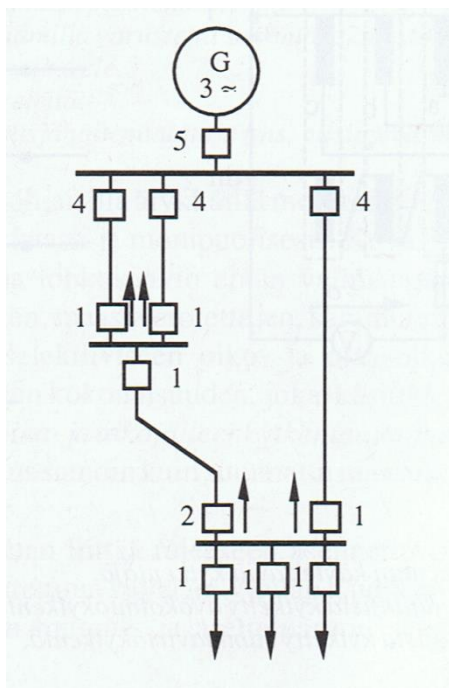
Pikajälleenkytkennän epäonnistuttua releautomaattikka odottaa pidemmän ajan, yleensä 30 – 90 s, ennen jälleenkytkentää. Jos vika ei ole poistunut rele jättää katkaisijan auki ja lukitsee sen. [6]

### 4.3 Suojauksen periaatteita

#### 4.3.1 Oikosulku

Säteittäisessä verkossa suojaus oikosulkua vastaan toteutetaan yleensä vakioaikaylivirtareleellä. Tällöin on suojauksen selektiivisyyden kannalta tärkeää, että releiden aikahidastukset asetellaan niin ettei synny tarpeettomia laukaisuja. Kun oikosulkuvirrat ovat suuret, kuten sähköasemien läheisyydessä, käytetään releissä joko käänteisaikalaukaisua tai viiveetöntä pikalaukaisua.

Silmukoidussa verkossa jossa sähköasemien väliset etäisyydet ovat lyhyitä, käytetään pitkittäisiä vertoreleitä jotka vertaavat johdon eri päissä mitattuja virtoja keskenään. Suojaus voidaan myös toteuttaa suunnatuilla ylivirtareleillä. Laajoissa verkoissa tällainen järjestely voi nostaa suojauksen toiminta-ajat liian suuriksi.



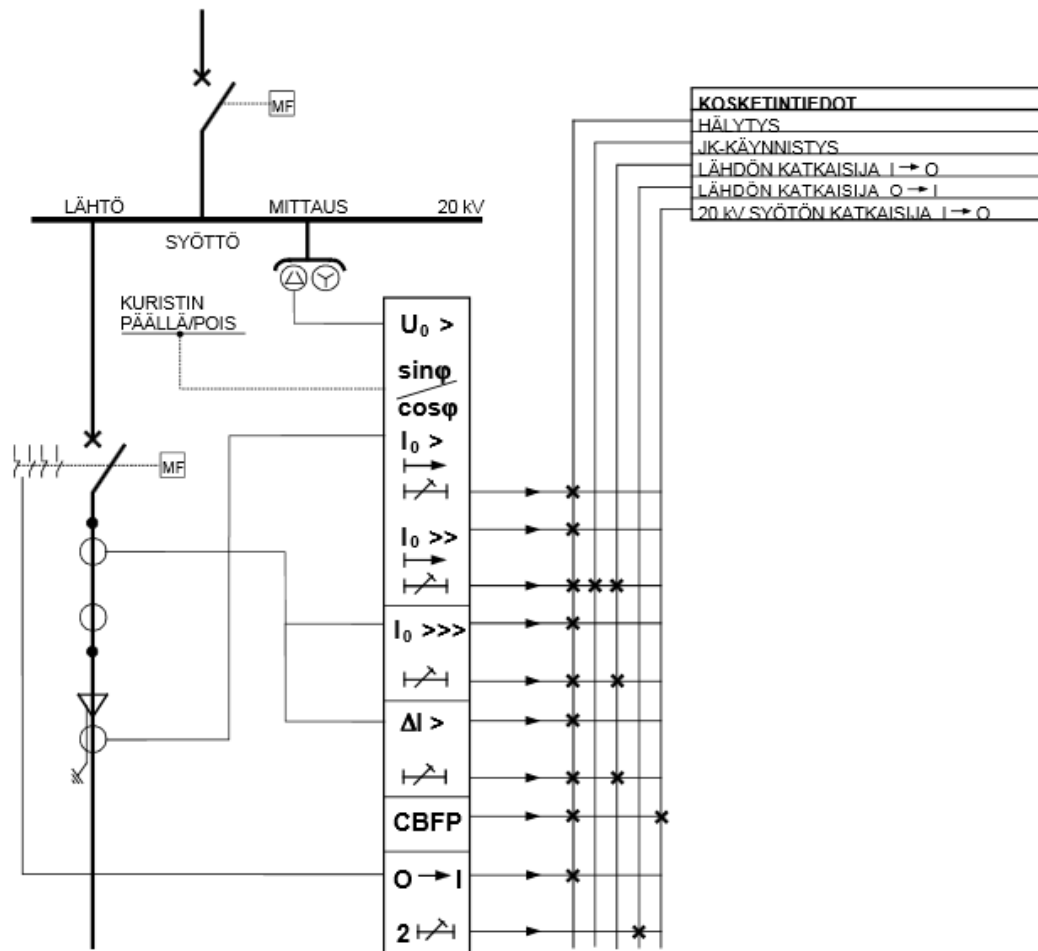
Kuva 15. Suojaus suunnatuilla ja suuntaamattomilla ylivirta-aikareleillä [4].

#### 4.3.2 Maasulku

Maasta erotetun verkon maasulkuvirta on yleensä pieni, jopa kuormitusvirtaakin pienempi, jolloin vian havaitseminen ja poislaukaisu perustuu nollavirtareleisiin tai nollajännitteeseen ja nollavirtaan kytkettyihin suuntareleisiin.

Sähköverkon maasulkusuojaus toteutetaan yleensä maasulun suuntareleillä. Maasulkusuojaus perustuu vaihevirtojen epäsymmetriaan ja tähtipistejännitteen muutokseen. Maasulkuvirta voidaan mitata vaihevirtamuuntajien summakytkennällä, kaapelivirtamuuntajan tai vaihevirtasensorien avulla. Maasulkureleen on havahduttava ainoastaan kun vika on releen suojaamalla lähdöllä. [6. s.190-191]

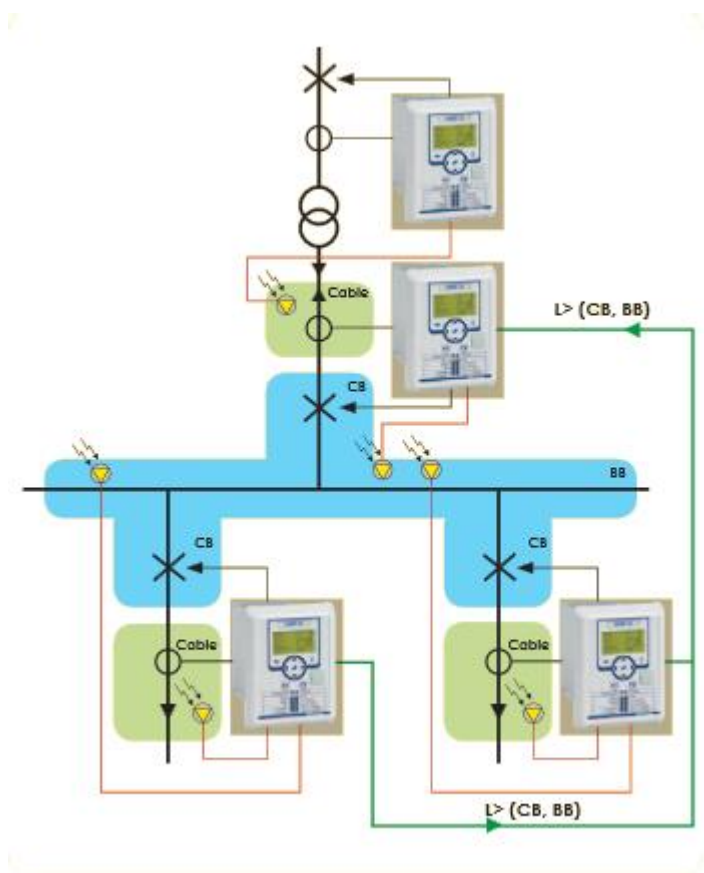
Kompensoidussa verkossa selektiivistä suojausta ei voida toteuttaa nollavirtareleillä eikä loistehoon tai –virtaan perustuvilla suuntareleillä, koska kuristimen kautta kulkevat loisvirrat sekoittavat releen havaintoelimet. Kompensoidun verkon maasulkusuojaus perustuukin virran pätökomponentin mittaamiseen. Maasta erotetussa verkossa maasulkusuojaus perustuu loiskomponentin mittaamiseen. Täten täytyy releasetteluja muuttaa jos verkkoon lisätään kompensointi tai otetaan pois. [9]



Kuva 16. Lähdön maasulkusuojauksen yleiskaavio.

#### 4.3.3 Valokaari

Toisinaan perinteinen suojauskoordinaatio ei ole riittävän nopea valokaaren poiskytkemiseksi. Suuri-impedanssinen maasulku voi aiheuttaa viivästyttää laukaisua niin että valokaaren aiheuttama paine- ja lämpöenergia aiheuttaa jo huomattavaa vahinkoa. Nopeampaa laukaisua tarvitaan esim. kojeistojen läheisyydessä, jossa oikosulkuvirrat ovat suuria. Tämän takia kojeistot yleensä varustetaan valokaarisuojauksella. Valokaarisuojaus toteutetaan valoisuusanturilla, joka havaitsee valokaaren jonka jälkeen nopea ylivirtaporras mittaa ylivirtaa tai maasulkuporras mittaa maasulkuvirtaa. Suojauksen toiminta on nopeaa, n. 15 ms. [10]

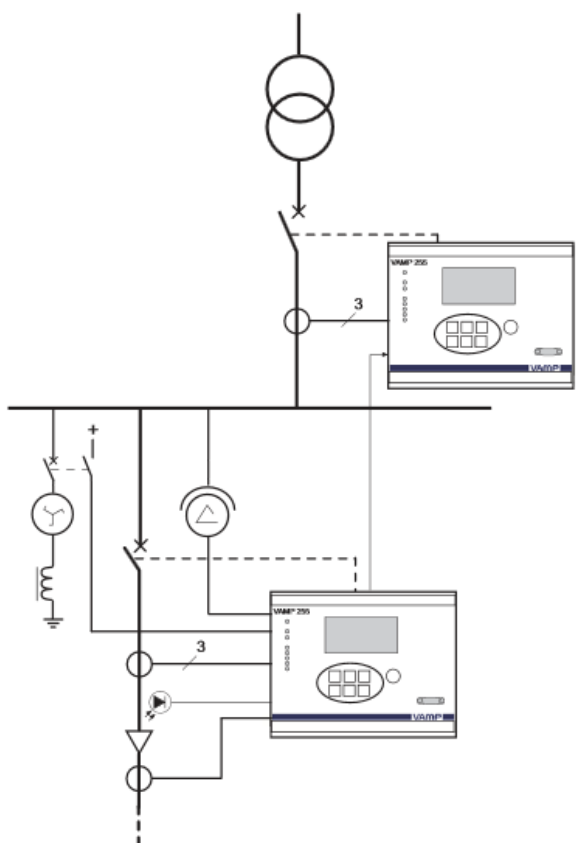


Kuva 17. Valokaarisuojauksen periaate.

## 5 Johtosuojauksen toteutus

Jokainen johtolähtö varustetaan omalla kennoterminalilla, joka valvoo johtolähdön tilaa. Kennoterminalit kytketään valvomojärjestelmään, jolloin kennoterminali voi lähettää ja saada tietoa sähköverkosta ja johtolähdöstä.

Johtolähtö suojataan ylivirtaa, oikosulkua ja maasulkua vastaan. [13]



Kuva 18. Johtolähdön suojaus VAMP-kennoterminalilla [13]

### 5.1 Suojaus oikosululta

Kolmivaiheinen ylivirtasuoja koostuu kolmesta portaasta:  $I>$ ,  $I>>$  ja  $I>>>$ . Kennoterminali mittaa vaihevirtojen perustaajuisen komponentin ja suojaus perustuu korkeimpaan mitattuun vaihevirta-arvoon. Alin porras,  $I>$ , voidaan konfiguroida toimimaan joko vakioaika- tai käänteisaikatoiminnallisena.  $I>>$  ja  $I>>>$ -portaat toimivat vain vakioaikatoiminnolla. [13]

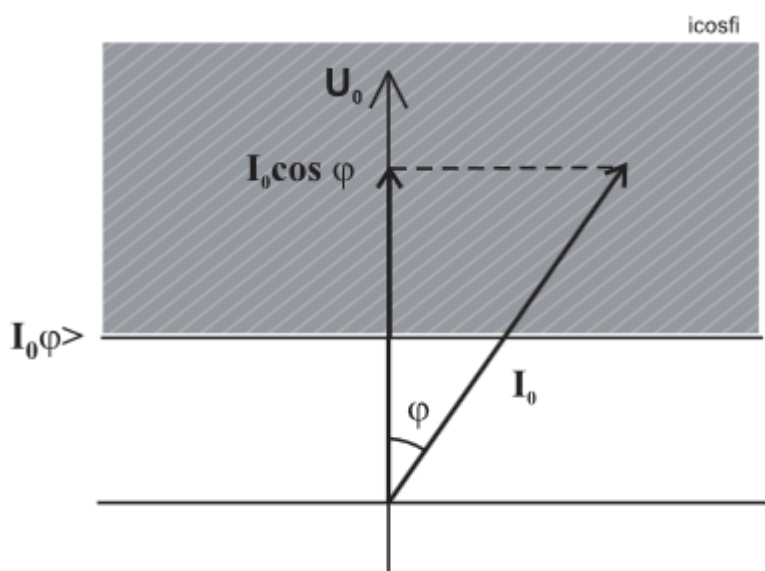
### 5.2 Suojaus maasululta

Maasulkusuojaus toteutetaan mittaamalla perustaajuisia nollavirtaa. Nollavirta saadaan joko virtamuuntajien summakytkenästä tai laskennallisesti vaihevirroista. Mittaamalla perustaajuisia komponentteja päästään hyvään tarkkuuteen koska harmoniset yliaallot vaimenevat. [13]

### 5.3 Suunnattu maasulku

Suunnattu maasulku mittaa nollajännitettä  $U_0$ , maasulkuvirtaa  $I_0$  sekä niiden välistä vaihekulmaa  $\varphi$ . Suunnatulle maasulkusuojuukselle on kaksi porrasta  $I_0\varphi >$  ja  $I_0\varphi >>$ . Molemmilla portailla on omat aikaasetukset. Rele havahtuu kun  $I_0\varphi >$  ja  $U_0\varphi$  ylittävät samanaikaisesti asetteluarvonsa.

$I_0\text{Res}$ -toimintoa (pätövirran mittaus) käytetään kompensoidussa verkossa ja  $I_0\text{Cap}$ -toimintoa (loisvirran mittaus) maasta erotetussa verkossa. Tämän ominaisuuden voi asettaa ja sitä voidaan ohjata. Ohjausta käytetään kompensoiduissa sovelluksissa, jossa kompensoitikela voidaan kytkeä päälle tai pois. [13]



Kuva 19. Suunnatun maasulkuportaan  $I_0\cos\varphi$  toimintakäyrä [13]

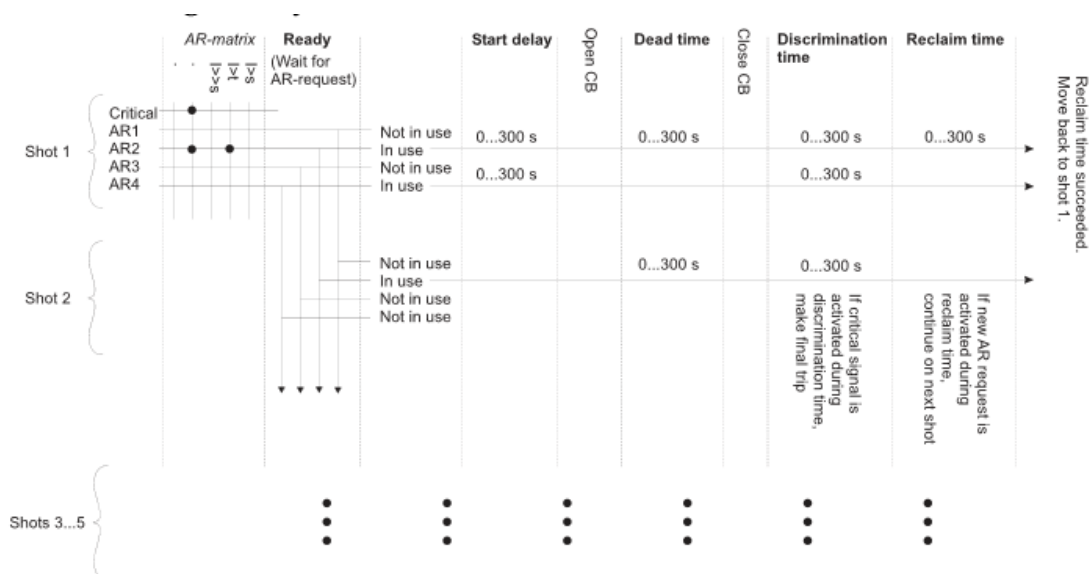
Viivelaskurilla voidaan tehdä laukaisu katkelevista vioista, vaikka yksittäisen vian kesto ei ylittäisi asettelu-aikaa. [13]

Katkeileva maasulku voidaan myös tunnistaa ja laukaista transient-metodilla, joka tutkii nollajännitteessä esiintyviä piikkiarvoja ja vertaa niitä lähtöjen  $I_0$ -arvoihin. Katkeilevassa maasulussa vioittuneen lähdön ja nollajännitteen välillä ei ole vaihesiirtoa. [12. s.33]



## 5.4 Jälleenkytkentä

Jälleenkytkennöillä poistetaan suurin osa verkon vioista.

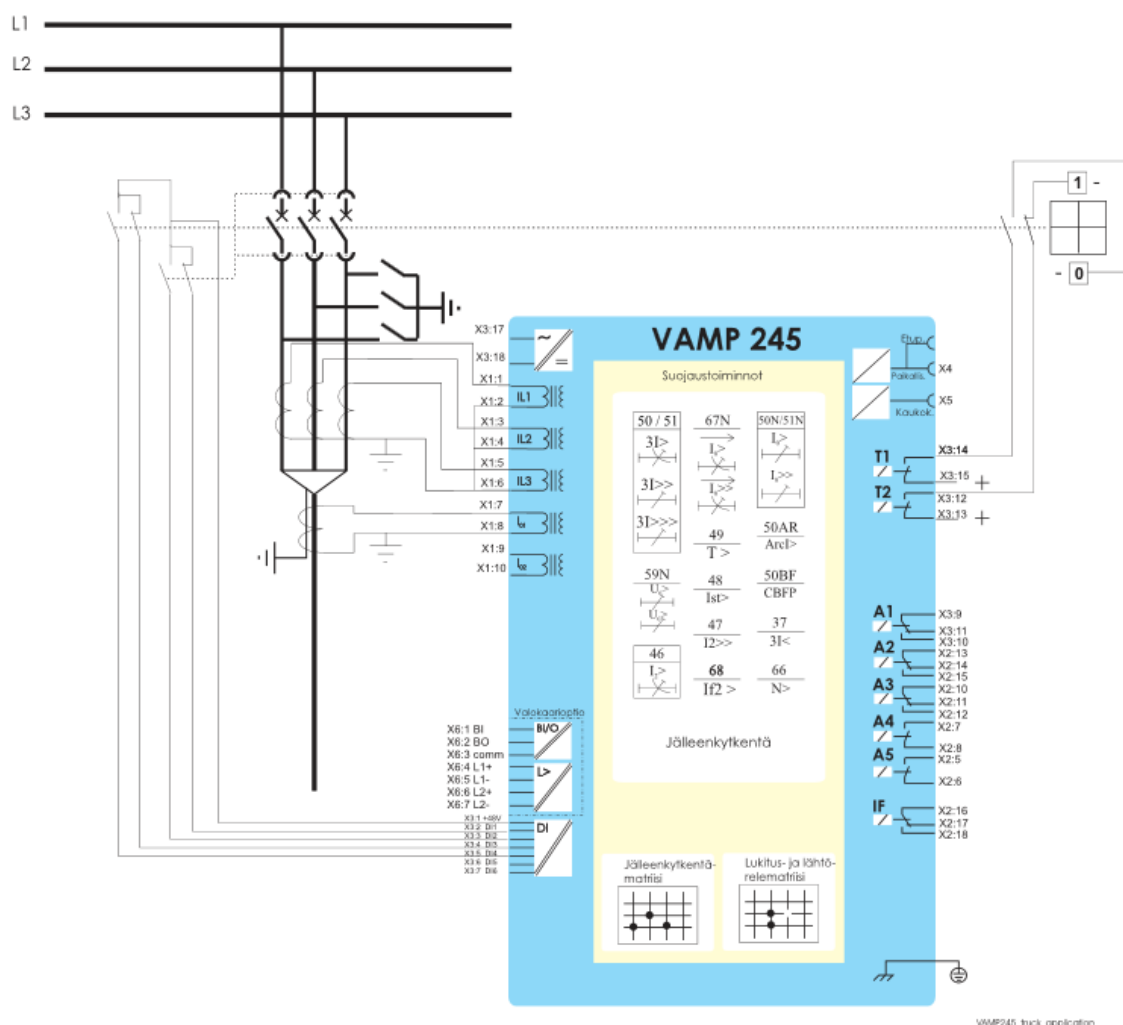


Kuva 20. Jälleenkytkentämatriisi [13]

Kuvassa x olevalla kennotermiinalin jälleenkytkentämatriisilla (AR) kuvataan jälleenkytkentätoiminnoille osoitettuja havahtumis- ja laukausignaaleja. Jälleenkytkentätoiminnossa ARx-signaalit voivat käynnistää jälleenkytkentäjakson. Jokaisella signaalilla on oma havahtumisviive ja suurin painoarvo on AR1-signaalilla.

Havahtumisviiveen kuluttua katkaisija avautuu ja jännitteetön aika käynnistyy. Jokaisella portaalla on oma asettelunsa jännitteettömälle ajalle. Jännitteettömän ajan kuluttua kennotermiinali sulkee katkaisijan ja käynnistää diskriminointiajan. Jokaisella portaalla on oma diskriminointiaikansa. Jos kriittinen signaali aktivoituu diskriminointiajan aikana, jälleenkytkentätoiminto antaa lopullisen laukaisun ja lukittaa sekvenssin. Lukitus puretaan avaamalla katkaisija käsin.

Kun diskriminointiaika on kulunut umpeen, käynnistyy palautumisaika. Jos jokin signaali aktivoituu palautumis- tai diskriminointiajan aikana, jälleenkytkentätoiminto siirtyy seuraavaan portaaseen. Palautumisaika on sama kaikilla portailla. Jos palautumisaika kuluu umpeen, jälleenkytkentäsekvenssi on onnistunut ja palaa takaisin valmiustilaan ensimmäiselle portaalle.



Kuva 21. Kennotermiinali VAMP245:n liityntäkaavio.

## 6 Yhteenveto

Tämän päivän sähköverkkoa hallitaan keskitetysti kaukokäyttöjärjestelmiä hyväksikäyttäen. Melkein kaikki tarvittavat toimenpiteet voidaan tehdä kaukokäyttövalvomosta käsin. Myös suojareleiden kehitys on ollut vauhdikasta, mikroprosessoreilla varustetut numeeriset releet voivat sisältää moninkertaisesti suojausfunktioita vanhempiin releisiin verrattuna. Alati kehittyvien mikroprosessorien

laskentateho ja kehittyvä mittaustekniikka lisää mittaustarkkuutta ja siten herkistää tarvittaessa suojausta.

Kennoterminaalien etuja on mm. että ne voivat mitata, tallentaa, lähettää ja vastaanottaa mittaustietoja ja asetteluarvoja. Tämä helpottaa vian paikannusta oikosulkutapauksissa sekä auttaa edelleen kehittämään suojauksen selektiivisyyttä.

Myös kennoterminaalien käyttäjäystävällisyys on eduksi. Helppokäyttöisyys auttaa konfigurointia. Ruudulta voidaan suoraan lukea mittaustietoja, tilatietoja sekä historiatietoja. Tämä pienentää käyttö- ja ylläpitokustannuksia.

Releiden itsetarkkailu on tarpeellinen ominaisuus vaikkakin hyvin vähä käyttöinen, mikä on tietenkin hyvä asia.

Todennäköisesti toisen sukupolven numeeristen releiden määrä tulee vain kasvamaan tulevaisuudessa kun vanhoja releistykksiä uusitaan tai kun rakennetaan kokonaan uusia relesuojauksen vaativia kohteita. [17]

Kennoterminaalit ovat relesuojauksen nykypäivää ja tulevaisuutta.

## Lähteet

- [1] Mörsky, Jorma, Relesuojaustekniikka. Hämeenlinna: Otatieto. 1993
- [2] Aura, Lauri – Tonteri, Antti J, Sähkölaitostekniikka. Porvoo, Helsinki, Juva: Werner Söderström Osakeyhtiö. 1993
- [3] Hietalahti, Lauri, Teollisuuden sähkökäytöt, AMK Kustannus Oy Tammertekniikka, Tampere. 2013
- [4] Paavola, Martti – Halme, Heikki, Sähkölaitosten suojaus, Porvoo: Werner Söderström Osakeyhtiö. 1979
- [5] Hurkala, Marcin, Sähkönjakeluverkon vikojen automaattinen analysointi, Teknillinen korkeakoulu [verkkodokumentti, viitattu 13.5.2013]. Saatavissa: <http://lib.tkk.fi/Dipl/2009/urn100043.pdf>
- [6] Partanen, Jarmo, Sähköverkkojen relesuojaus osa 2, opetusmoniste, Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu, Energiatekniikan osasto. 1995
- [7] Riski, Esa, Kennoterminaali johtolähdössä. Metropolia AMK, 2010
- [8] Siltala, Tuomas, Oikosulkumoottoreiden (0,2 ... 10 MW) suojaus ja valvonta releillä ja antureilla, suojausstandardit ja lämpenemisaikavakiot. Helsingin teknillinen oppilaitos, 1993
- [9] ABB, Teknisiä tietoja ja taulukoita. Luku 8, maasulkusuojaus [verkkodokumentti, viitattu 13.5.2013].
- [10] VAMP Oy, VAMP 50/51/52/55 Protection relays with native IEC 61850 and arc flash protection [verkkodokumentti, viitattu 13.5.2013]. Saatavissa: <http://www-fi.vamp.fi/Brochures/English/VB50.EN008.pdf>
- [11] VAMP Oy, Patenttiuutinen 17/02/2011 [verkkodokumentti, viitattu 13.5.2013]. Saatavissa: <http://www-fi.vamp.fi/Press%20release/Vamp%20patentoi%20katkeilevien%20maasulkujen%20tuennistumenetelm%C3%A4n.pdf>
- [12] Mäntylä, Lauri, Keskitetyn maasulkusuojan toimintaperiaatteet ja käyttö, Tampereen ammattikorkeakoulu, 2011
- [13] VAMP Oy, VAMP 255 / 245 / 230 Johtolähtö- ja moottorisuojat, Käyttö ja konfigurointiohje, Tekninen selostus [verkkodokumentti, viitattu 14.5.2013]. Saatavissa: <http://www-fi.vamp.fi/Manuals/Finnish/VM255.FI003.pdf>

[14] Puhakka, Veli-Matti, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulun automaatiolaboratorion ja vesiprosessin sähkösuunnittelu, Kemi-Tornion ammattikorkeakoulu, 2010

[15] VAMP Oy, VAMP 40 Johtolähdön ja moottorin suojaus, käyttö- ja konfiguraatio-ohjeet, Tekninen selostus [verkkodokumentti, viitattu 14.5.2013].  
Saatavissa: <http://www-fi.vamp.fi/Brochures/English/VBMotor.EN001.pdf>

[16] ABB Oy, SPAM 150 C Moottorisuojaus, ostajan opas [verkkodokumentti, viitattu 14.5.2013]. Saatavissa: [http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/dd8bfde59018b60ec12571e700438d54/\\$file/SPAM150\\_tob\\_755814\\_Flb.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot229.nsf/veritydisplay/dd8bfde59018b60ec12571e700438d54/$file/SPAM150_tob_755814_Flb.pdf)

[17] Käyttöpäällikkö Jarno Virtasen haastattelu, 3.5.2012. Mäntsälän Sähkö Oy

[18] VAMP Oy, Comprehensive motor protection and control from VAMP [verkkodokumentti, viitattu 14.5.2013]. Saatavissa: <http://www-fi.vamp.fi/Brochures/English/VBMotor.EN001.pdf>

